



ユニット設立報告会

2023年4月18日

プラズマ量子プロセス
ユニット

Plasma Quantum
Processes Unit
(PQP Unit)

ユニット長 加藤太治



内容

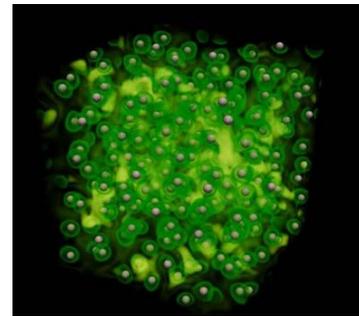
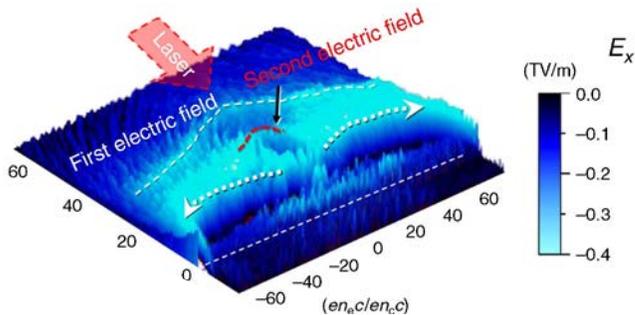
- ユニットの研究目的
- 核融合科学における課題
- 学際的展開、トピックス
- ユニットメンバーの研究計画
- 共同研究体制
- まとめ

本ユニットの研究目的

低温から高温、低密度から高密度（量子プラズマ）に至る多様なプラズマにおいて、**量子プロセス**がいかにプラズマ物性を規定し、どのようなプラズマ現象として発現し観測されるかについて明らかにする。

プラズマ量子プロセス

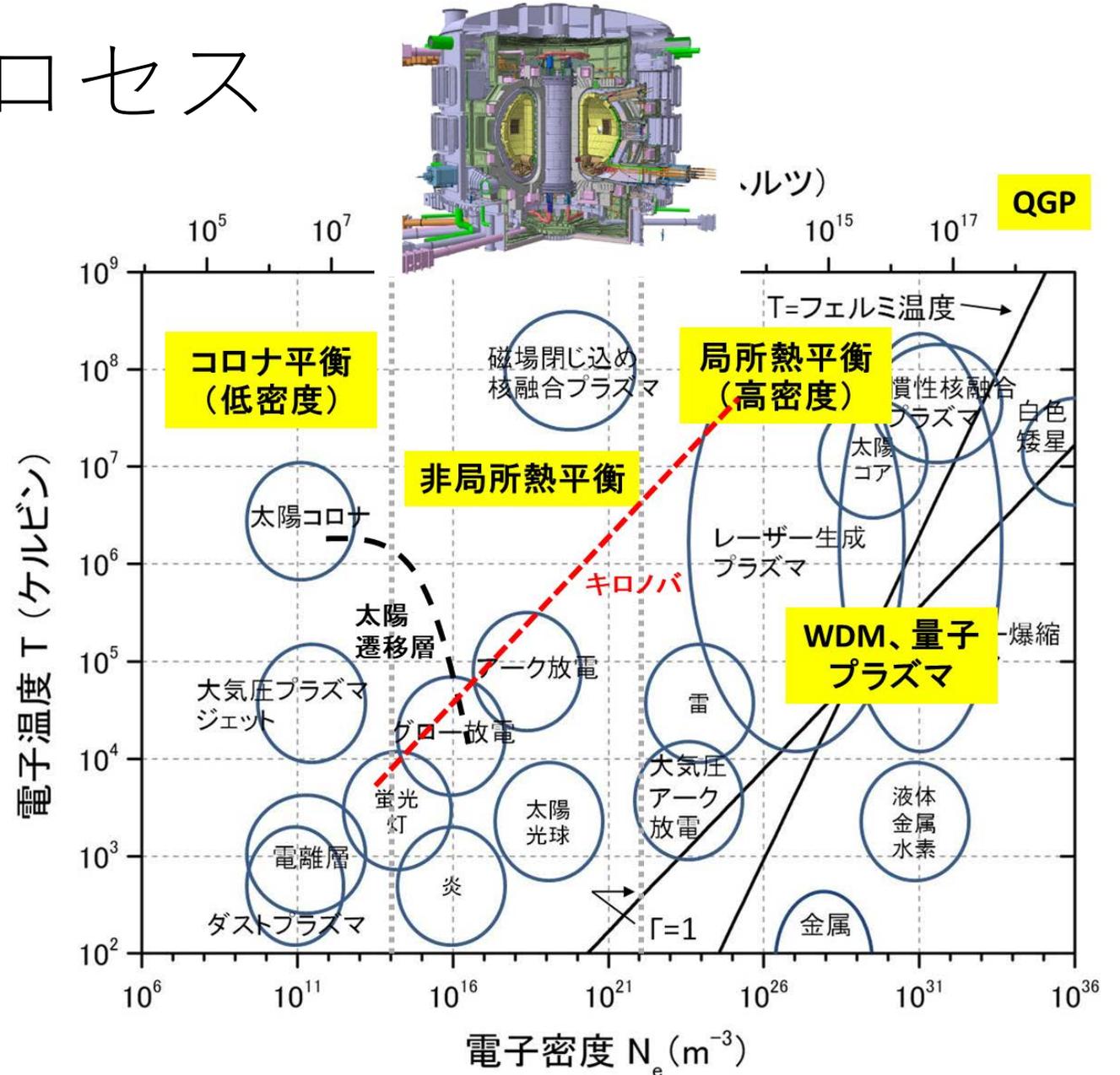
- プラズマを構成する原子・分子の**素過程**およびプラズマ粒子や電磁波との**相互作用**による集団のキネティクス
- 高強度レーザーと物質との相互作用により生成される高密度プラズマ物性



Warm Dense Matter

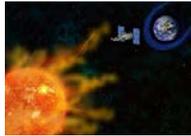
レーザープラズマ相互作用

※ <https://phys.org/news/2021-01-harnessing-power-ai-dense.html>



学際的展開

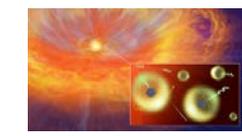
群論、位相空間論
原子構造の新記述法考察
ミュオン核融合
エキゾチック原子分子
多電子系の相対論的ダイナミクス



太陽コロナ
Solar-C_EUVST計画

マルチメッセンジャー天文学

LIGO/Virgo/Kagra



キロノバ
X線天文学
重元素の起源
宇宙の化学進化

超新星残骸
XRISM計画
ガンマ線バースト



オーロラ
高層大気・惑星大気
CO₂, NO_x, SO_x

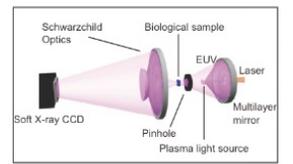


気相反応
液相との相互作用
ラジカル反応
重粒子線治療

新材料
レーザー量子ビーム
Warm Dense Matter

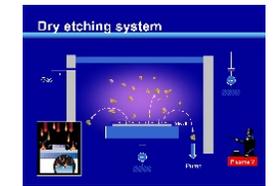


半導体リソグラフィー
用EUV光源開発
希土類元素スペクトル
次々世代EUV光源



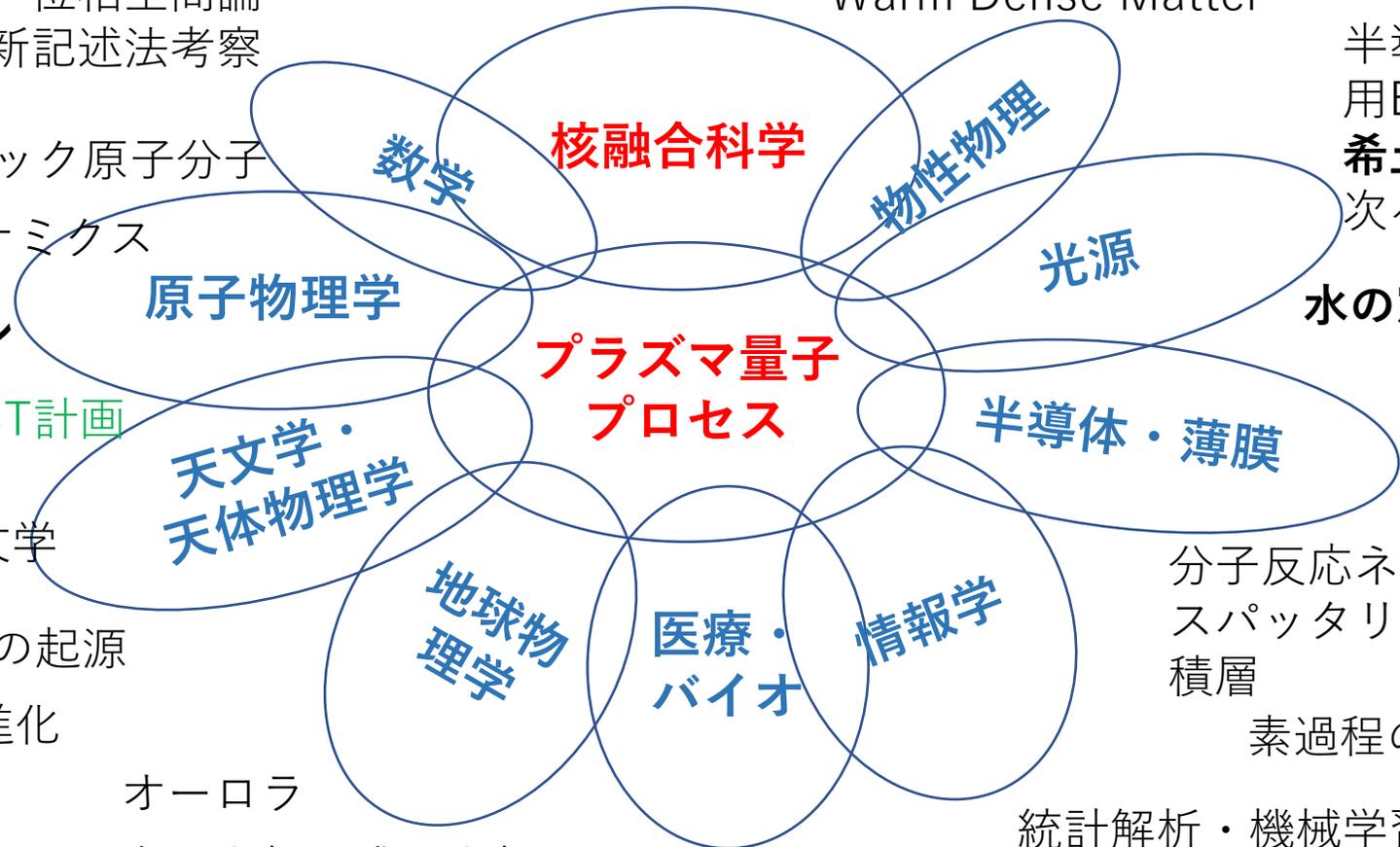
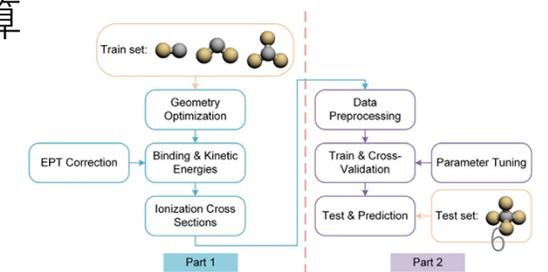
水の窓X線顕微鏡用光源

分子反応ネットワーク
スパッタリング
積層



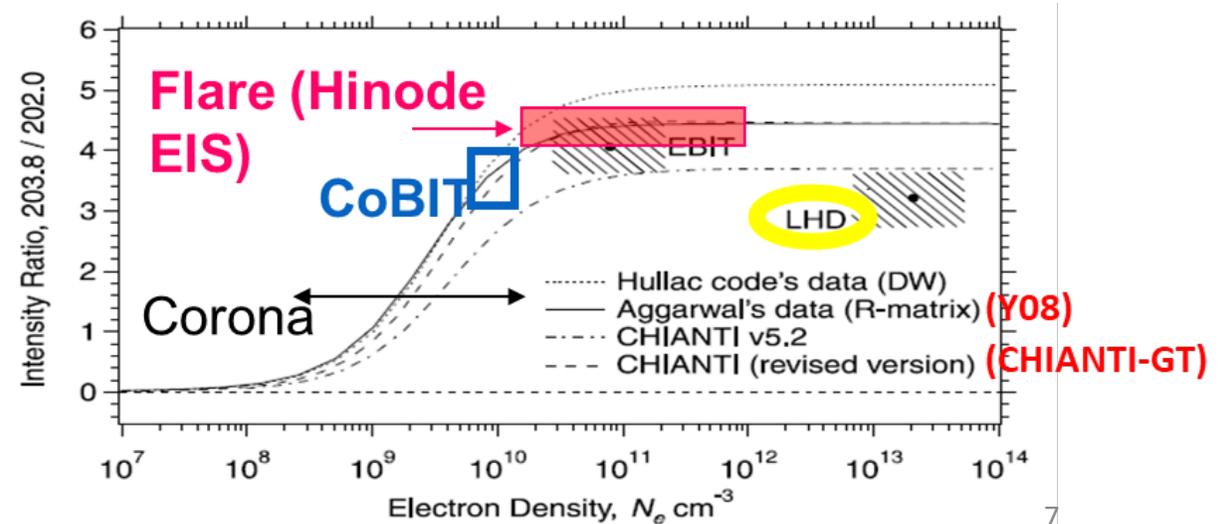
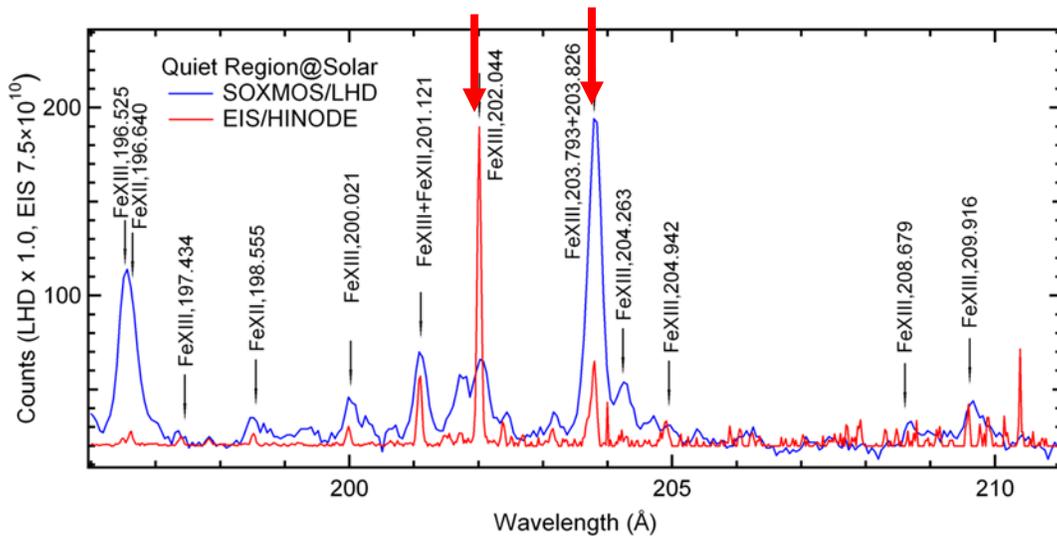
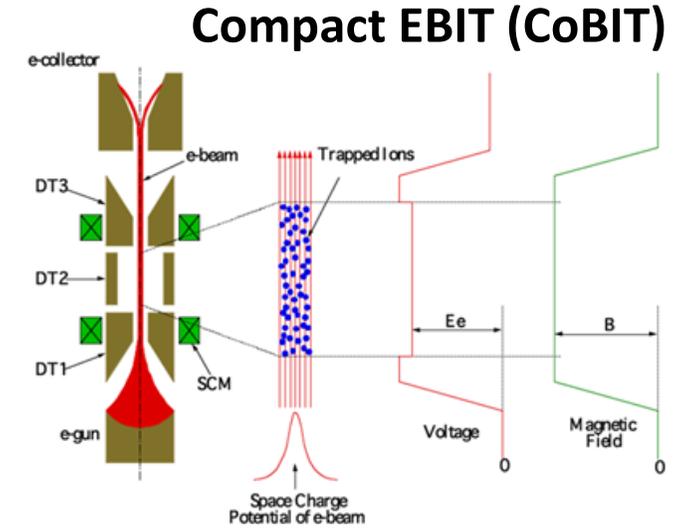
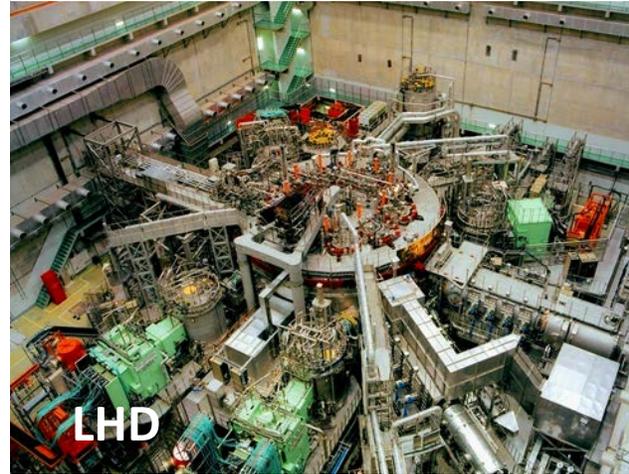
素過程の解明

統計解析・機械学習
データ推算
構造解析



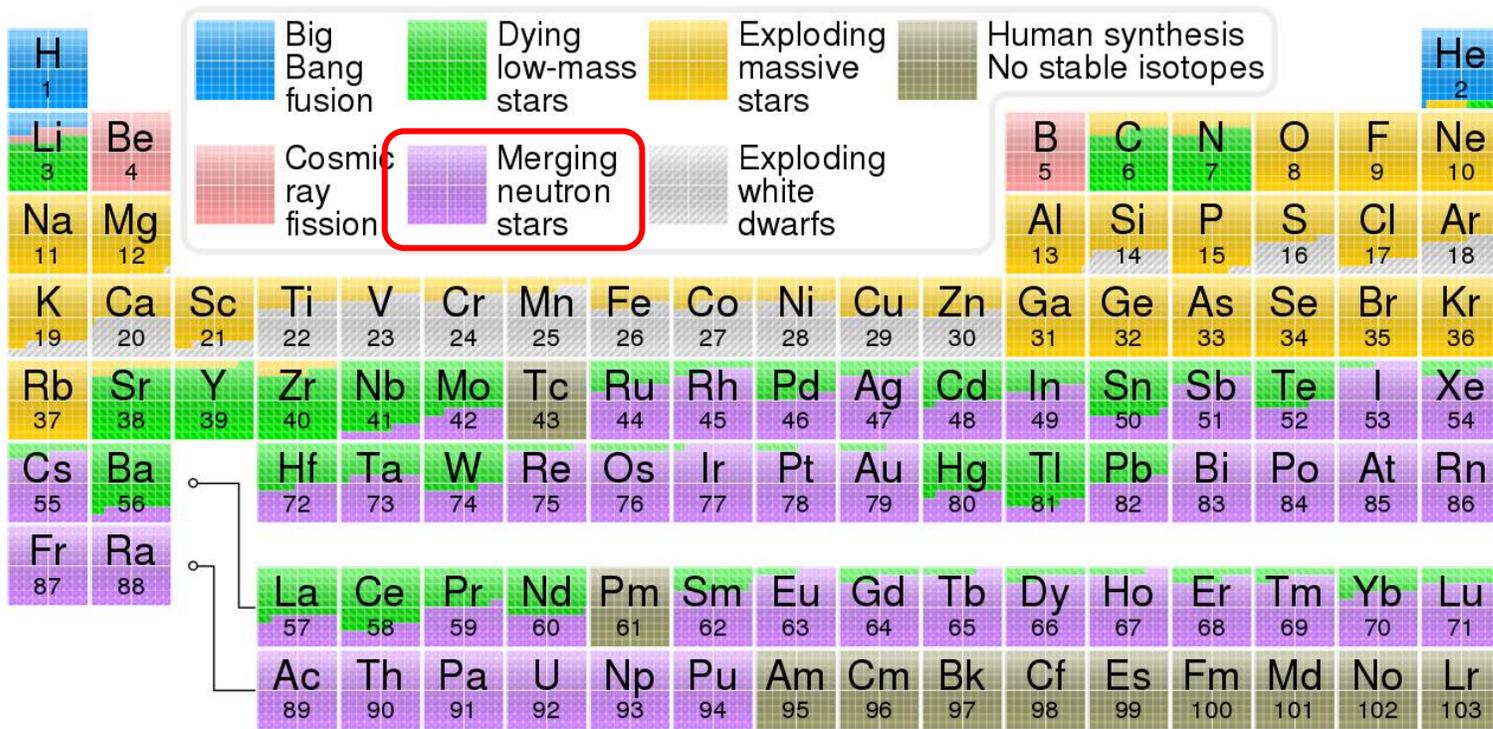
太陽遷移層プラズマ診断モデルの開発(国立天文台との連携研究)

- 太陽コロナ ($10^8/\text{cc}$) \leftrightarrow 磁場閉じ込めプラズマ ($10^{13}/\text{cc}$)



Yamamoto et al. ApJ 2008, Watanabe et al. ApJ 2009

中性子星合体のキロノバ観測と宇宙における重元素起源の解明



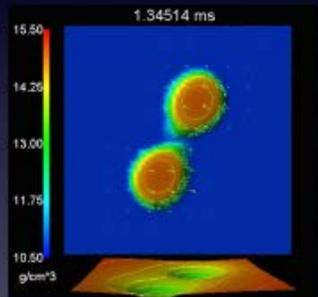
中性子星合体に伴って起こる速い中性子捕獲過程（rプロセス）が鉄より重い重元素の大半を合成した

天文・原子物理の協働によるキロノバのスペクトルの解読

Project for astronomical observation of GW objects and cosmic origin of heavy elements by cooperation of atomic physics and astrophysics

Sekiguchi (Toho U)
Wanajyo (Sophia U => AEI)

Relativity simulation



Kilonova model

Kato, Murakami (NIFS)
Gaigalas (Vilnius U)

Atomic data calculations

Energy levels
Transition rates
Collision cross sections

Nakamura (UEC), Tanuma (TMU),
Sakaue (NIFS)

Laboratory experiments

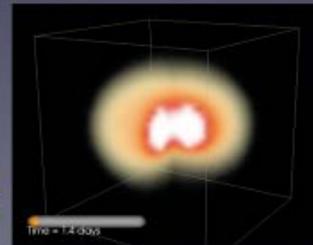


Validation

Radiation transport

EM emission spectra

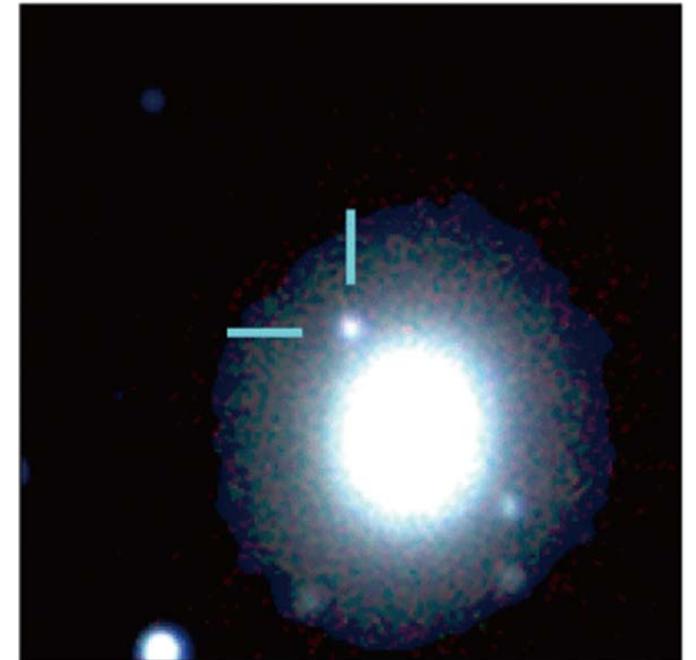
Tanaka (NAOJ => Tohoku U)
Hotokezaka (Princeton U =>
Tokyo U/Kavli-IPMU)



Astronomical observation of GW objects
Cosmic origin of heavy elements

Started in 2016

EM counter part of GW170817



MT et al. 2017, PASJ, 69, 102

中性子星合体のキロノバ観測と宇宙における重元素起源の解明

プレスリリース

- 「中性子星合体からの光を分析する世界最高精度の原子データの構築」

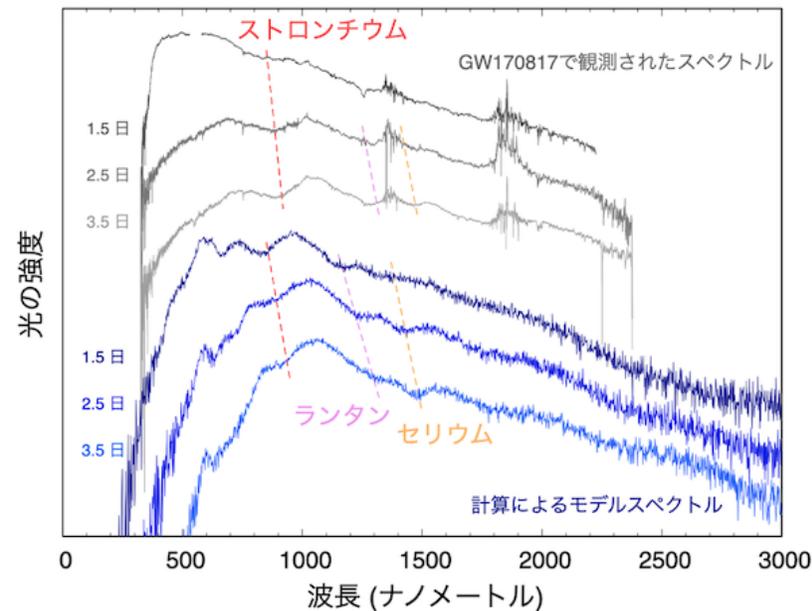
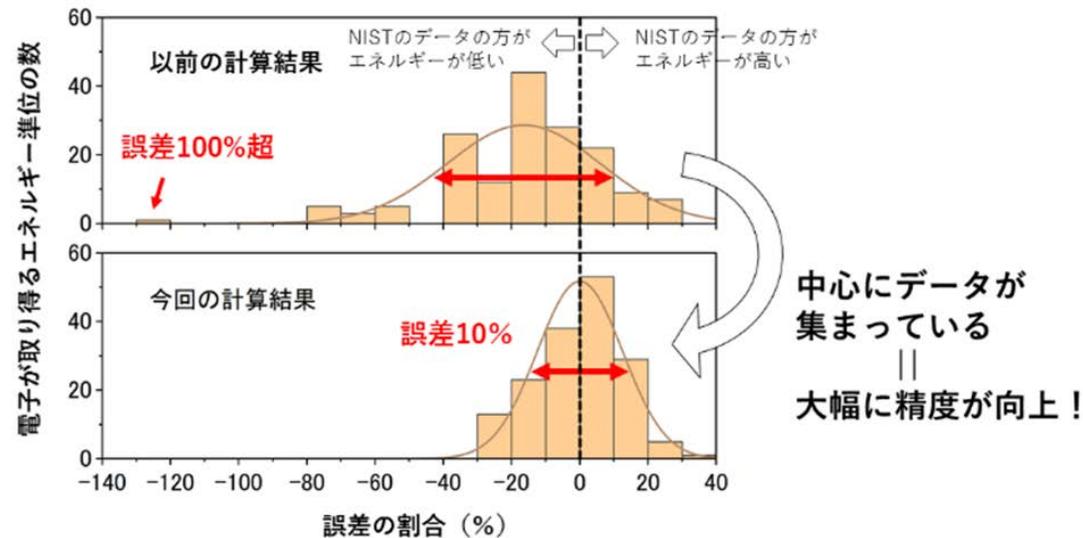
2019年2月21日

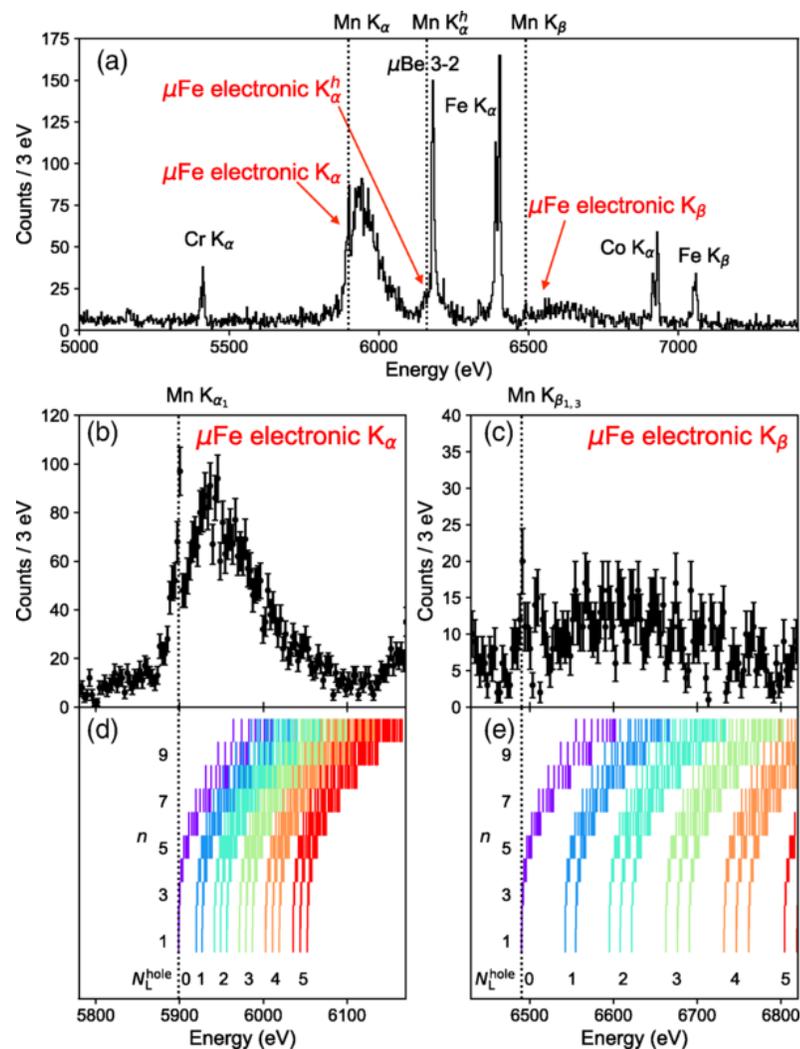
<https://www.nifs.ac.jp/news/press-o/190221.html>

- 「中性子星の合体で合成されたレアアースを初めて特定」

2022年10月27日

<https://www.nifs.ac.jp/news/collabo/221027.html>





ミュオンを打ち込んだ鉄薄膜からの硬X線スペクトル（X線マイクロカロリメータで測定）とX線ピークのDFT計算

- 大強度ミュオンビームと天体観測用に開発されてきたX線マイクロカロリメータの利用により、物質中でのミュオンの原子過程の精密な分光研究が可能になった。
- 負ミュオンの捕獲により生じた多価イオン（ミュオニック多価イオン）の生成過程と原子構造はまだほとんど解明されておらず、エキゾチック原子物理の興味深い研究対象。
- 中部大、理研、筑波大計算機センター、東北大の研究グループと協力して、負ミュオンを捕獲した重元素原子からの高エネルギーX線スペクトルを詳細に解析し、エキゾチックなミュオニック多価イオンの原子構造を明らかにする。
- そのために必要な、ミュオンカスケードとミュオンを束縛した多価イオン原子構造のより正確な計算手法を開発。

プラズマ装置学ユニットとの連携テーマ:ミュオン化学反応経路の探索(ミュオン触媒核融合)



所内ユニット メンバーの研究計画

ユニットメンバー（R5年4月18日現在）

原子物理（理論・実験）、プラズマ原子分子過程、データベース

加藤太治、村上泉、坂上裕之、
Priti (COE)、
Shivam Gupta (COE)、
加藤雅敏（研究支援員）

新任2名（計算物質科学、
レーザー・実験室宇宙物理）

岩本晃史、森高外征雄
客員（藤岡慎介、重森啓介）

**レーザープラズマ相互作用、
低温工学**

プラズマ分光、計測

鈴木千尋、舟場久芳、
武藤貞嗣

山岸統

プラズマ運動論輸送

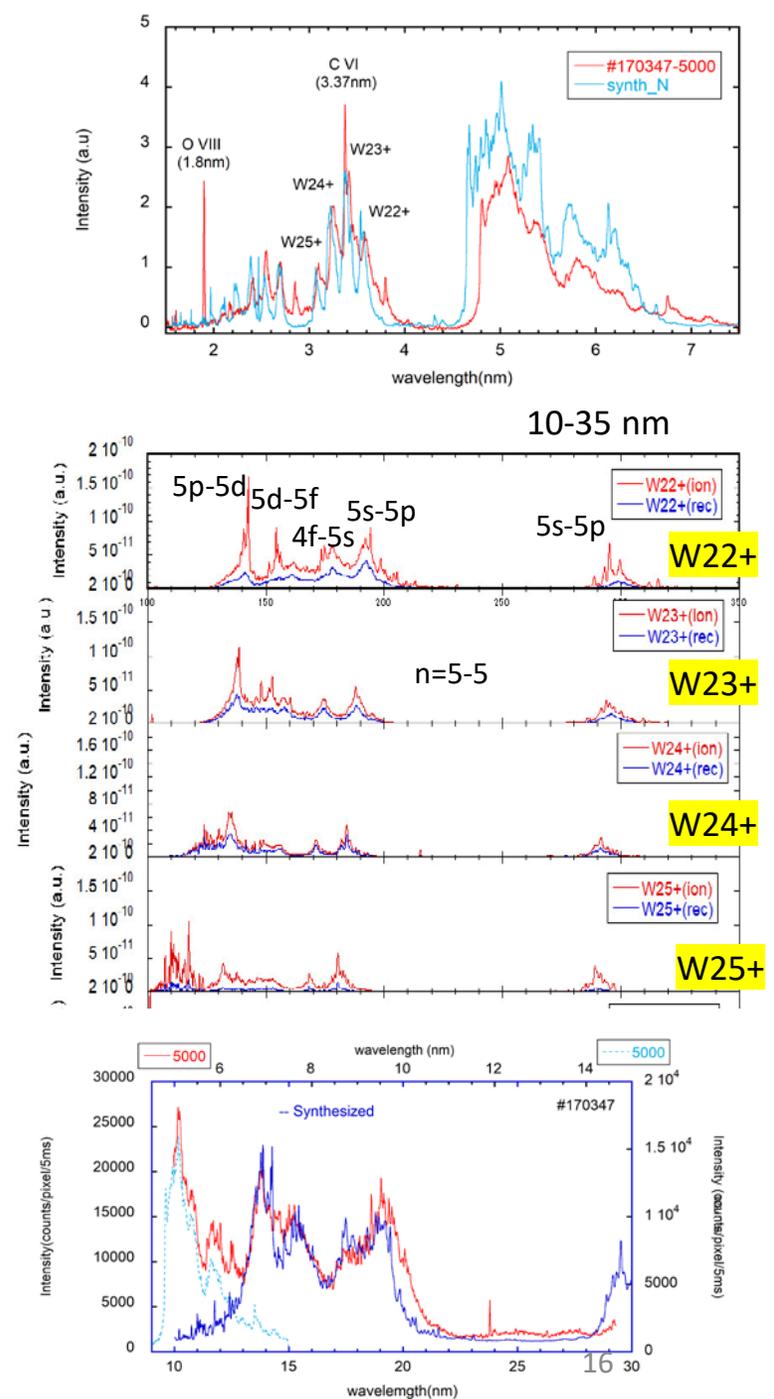
学術テーマ	所内メンバー、客員
エキゾチック量子多体系（高Z多価イオン、ミュオン原子分子、WDM）の物理	加藤、村上、坂上、鈴木
非平衡・非等方プラズマ、電磁場、輻射場の量子プロセスと集団のキネティクス	加藤、村上、山岸、舟場、武藤
高エネルギー・高強度場におけるプラズマダイナミクス（量子電磁力学効果に着目）	森高
量子プロセスと結合したプラズマ運動論モデル	山岸、森高
新規多価イオン実験装置の開発	坂上
実験室プラズマ計測法の高度化	鈴木、舟場、武藤
レーザープラズマ相互作用・低温工学	岩本、森高、客員（藤岡、重森）

高Z多価イオン量子プロセス（加藤太治）

- 非平衡プラズマ中の高Z多価イオンの光放射・吸収係数、可視－近赤外分光、磁場・超微細誘起遷移
⇒核融合プラズマ不純物診断、キロノバ観測データの解読（**基盤A分担2023－、リトアニアとの二国間事業2023－**）、原子時計遷移の同定（Priti）
- 多価イオンEUV発光の非定常緩和の時間依存衝突・輻射モデル、CoBIT実験
⇒高Z多価イオンの電離・再結合過程の分光学的研究を可能に（**基盤B代表－2022**）
- 多電子多価イオン構造の統計理論
⇒量子カオス、高Z多価イオンEUVスペクトルの衝突・輻射モデル、キロノバ輻射流体コード
- ミュオン原子多価イオンからの硬X線スペクトルのモデリング（Okumura et al. PRL 2021）
- 高強度レーザー物質相互作用で発生する超高強度磁場中での多価イオンスペクトルのモデリング（Fujioka et al. Sci. Rep. 2013, Murakami et al. Sci, Rep. 2020）

研究計画(村上泉)

1. 多電子原子の準連続スペクトルUTAの性質と定量的診断法の開発(科研費A~令和7年度)
 - タングステンイオン等、重元素多価イオンのUTAスペクトルの理解と定量的診断法の確立。
 - 第一原理計算に基づく分光モデルの構築と高度化
 - LHD実験等によるスペクトルとの比較によるモデルの検証
2. ダイバータプラズマへの不純物ガスパフの影響の定量評価
 - 希ガス等不純物ガスパフの放射特性の導出(衝突輻射モデルの整備 - Guptaさん)
 - デタッチ形成の条件の検討
3. 太陽観測用分光モデルの検証(国立天文台との共同研究)
 - Fe XXI, Ca XVIIなど多価イオンの輝線強度比と電子密度の関係の検証
4. X線天文学研究のための分光診断の高度化(宇宙研との共同研究)
 - 軟X線領域における重元素多価イオンの分光モデル構築と実験検証
5. データ科学手法を応用した原子分子データ評価及び分光データ解析方法の開発
 - 転移学習などの手法を適用して原子分子データを推算する方法の開発
 - スペクトル解析へのデータ科学手法の適用
6. 原子分子データベース活動、データベースの保守、更新、改良
 - 核融合等プラズマ研究のための原子分子データの整備。原子分子データベースの運用。国際協力(IAEA データセンターネットワーク、VAMDCコンソーシアム、ADASコンソーシアム)



研究計画（坂上裕之）

既存のCoBITに加え、より高磁場・高電子密度のEBITを開発し、従来の電子励起による分光計測に加えプローブとしてレーザーや放射光を用いた光-多価イオン相互作用の研究を新たに推進する。NIFSが中心となり、国内の多価イオン研究者をまとめ、多価イオン共同研究グループを立ち上げ、世界と戦える研究集団を作り上げる。

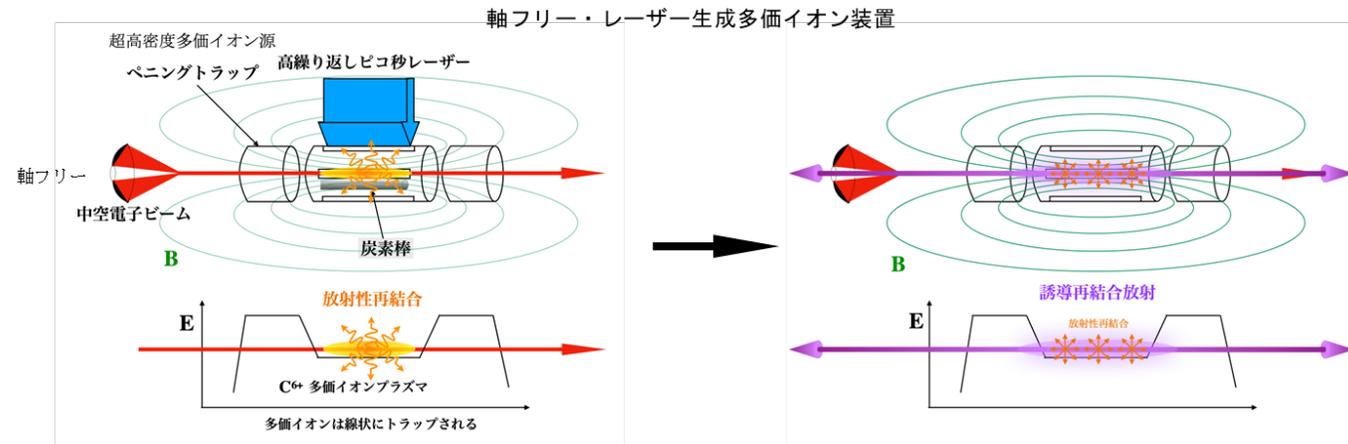
多価イオンはその内部エネルギーの高さ故、相対論的な振る舞いを示し、核との相互作用の研究も可能な基礎物理研究の対象でもありながら、その内部エネルギーの解放による工学的な利用も可能な対象でもあり、基礎科学分野から工学分野に至までその波及効果は広範囲に及ぶ。

具体的には以下の独立した研究をEBITを用いて推進する。

- 多価イオンからの禁制遷移の基礎研究
(電気八重極子遷移の観測、多価イオン時計など)
- 核融合プラズマや太陽コロナ中の多価イオンデータの収集
(W^{q+} , Fe^{q+} , Ni^{q+} , Ca^{q+} , Mg^{q+} , ...)
- 次世代半導体リソグラフ用光源の探査 (Gd^{q+} , Tb^{q+} , ...)
- 生体顕微鏡用光源 (水の窓・炭素の窓)の探査 (Bi^{q+} , Au^{q+} , Pb^{q+} , ...)
- 光と多価イオンの相互作用・波長可変X線レーザーの基礎研究 (新型EBITの開発)

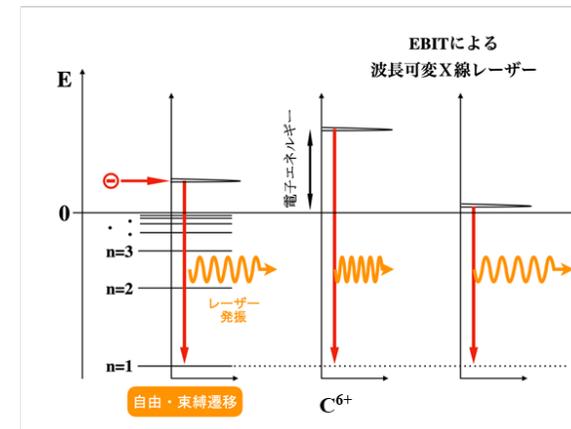
光と多価イオンとの相互作用の研究

自由・束縛誘導遷移を用いたX線レーザーのための超高密度多価イオン源新型EBITの開発

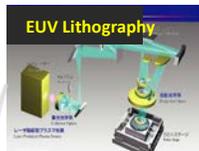


自由-束縛遷移X線レーザー発振へのロードマップ

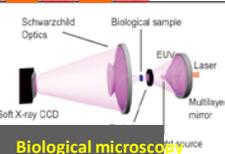
	1年目	2年目	3年目
実験計画	EBIT基本設計 磁場解析、軌道計算EBITチャンパー設計・製作 高温超電導磁石テストピース製作・EBIT電子銃設計・製作 及び冷却・励磁テスト・EBIT組立及び動作試験 EBIT本体設計・製作	レーザー設置及び集光テスト	レーザー多価イオン生成及びトラップテスト 多価イオン生成の最適化 再結合放射の観測及び最適化 多価イオンの密度測定
目標設定	第一期 ・超高密度完全電離多価イオンの生成 ・微小3次元空間への多価イオン閉じ込め ・エネルギー可変電子ビームと多価イオンの合流 -イオン密度 $\sim 10^{18-19}/cm^3$ の達成- -再結合放射の観測-	第二期 ・高密度ピコ秒パルス 電子銃の開発 -電子密度 $\sim 10^{20}/cm^3$ の達成-	第三期 ・自由-束縛遷移X線 レーザー発振



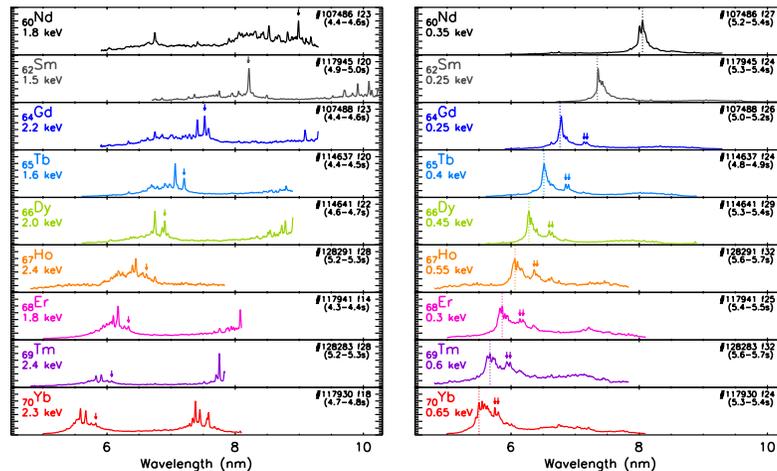
高Z多価イオンの分光研究 (鈴木)



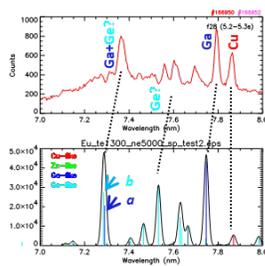

www.nist.gov/pml/data/periodic



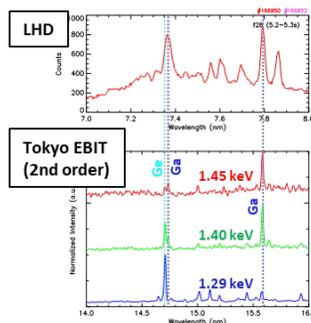
LHDで観測した高Z元素と関連分野



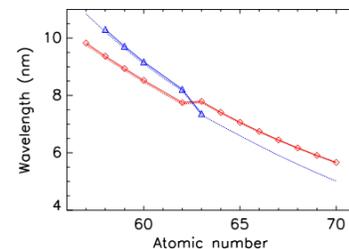
ランタノイド元素の軟X線スペクトル



CR model



EBIT装置・理論計算との比較



Z依存性の整理



レーザー生成プラズマ装置

- タンガステンをはじめ、複雑なスペクトル構造を持つ様々な高Z多価イオンについて、LHDでは膨大な分光データが蓄積されており、詳細な解析に着手できていないデータが多い。

- EBIT装置や理論計算との比較や、Z依存性の整理を通じた分光データ解析を進めるとともに、パラメータが大きく異なるレーザー生成プラズマなども活用し、幅広い分光データをさらに蓄積する。
- 蓄積された大規模データに対して統計的解析手法も適用し、複雑なスペクトル構造の理解に向けた新たなアプローチを試みる。

ユニットで行う研究の計画(舟場)

(1) トムソン散乱による電子温度・密度計測

プラズマの T_e, n_e の詳細な空間分布の情報は、不純物密度や発光強度等の原子過程の計算においても重要である。

- 高時間分解トムソン散乱計測

高繰り返しレーザーを用いたトムソン散乱計測では、**20 kHz, 100 パルス (または 1 kHz, 30 パルス)** でのプラズマへのレーザー入射を行い、 T_e, n_e 計測を行っている (右図)。

- リアルタイム・トムソン散乱計測

プラズマ放電中に散乱光信号を読み出し、 T_e, n_e を求める。

- トムソン散乱計測用に波長方向にチャンネル数の多い分光器を開発する。

- JT-60SA におけるトムソン散乱計測

QST のトカマク炉心プラズマ共同研究「トムソン散乱計測のための高速デジタルによる信号処理に関する研究」を行っている。

(2) プラズマ熱輸送解析および不純物輸送解析、レーザー・ブロー-オフ

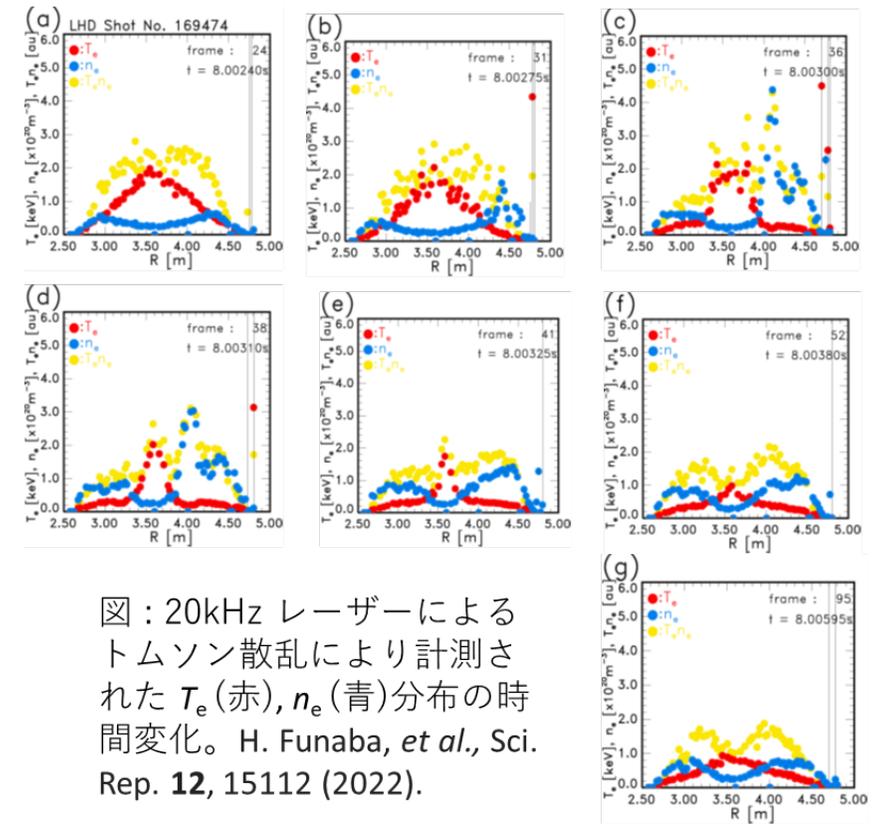
定常のパワーバランスに基づく熱輸送解析、また、不純物輸送コード STRAHL, MIST による不純物輸送計算を行い実験結果と比較する。中小型装置において金属不純物の入射が必要とされる場合、レーザー・ブロー-オフ不純物入射を行う。

(3) ペニング真空計分光による水素/ヘリウム分圧計測

ペニング真空計内の放電の分光や、ウィスコンシン大学、W7-X との協力による WISP ゲージを用いて、H₂, He, Ne 等中性粒子の分圧計測を行っている。

(4) クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP)

Heavy Ion Pub 研究会に参加 (2022年12月、大阪大学理学部)



図：20kHz レーザーによるトムソン散乱により計測された T_e (赤), n_e (青) 分布の時間変化。H. Funaba, et al., Sci. Rep. **12**, 15112 (2022).



受賞 2022. 11. プラズマ・核融合学会 第27回技術進歩賞

X線のスペクトルと画像の解析

武藤 貞嗣

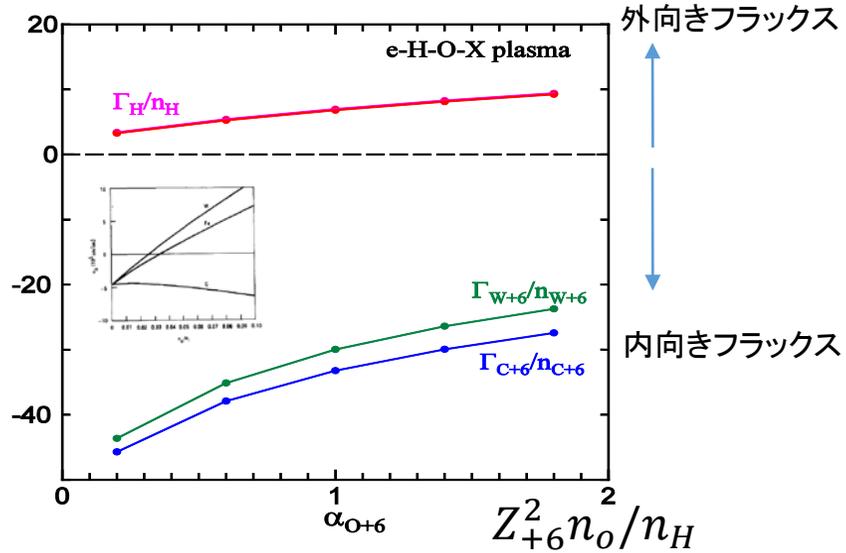
概要: 数値計算言語GNU Data Language (GDL)を用いた画像処理
をGPUを活用して高速化する。

目的: プラズマの連続X線スペクトルの画像をプラズマの
温度分布に変換する。

内容: テストスタンド (Linux OS) 上でGDLを立ち上げる。
IDEの導入によってプログラミングし易くする。
OpenACCやOpenMPを利用してGDLをGPU搭載機仕様にする。
Mellin変換による温度解析を行う。

① 正確なフォッカー-プランク衝突項を用いた不純物などを含む詳細な運動論輸送計算

[山岸、坂本, 物理学会2020(春)]



近似を含まないフォッカー-プランク衝突項に基づく新古典計算による、トレース(微量)不純物粒子束(W,C)の背景不純物(O)密度依存性 ($n_{trace} \ll n_{background}$)。主不純物(O)を用いて微量不純物の制御を企図したものである。ここでの電子を含む新古典数値計算では、重いあるいは軽い不純物(W,C)は両方ともインフラックスのみであり差異は小さかった。これは著名なレビュー論文[Hirshman-Sigmar81']の理論と一致していない(重い不純物が吐き出される)。どのような条件があれば吐き出しが起こるのかなど、詳細を今後詰める必要がある

② 運動論計算における非理想的効果(非等温性、高次項、ソース項等)の包含

[山岸, 物理学会2022(秋)]

プラズマ成分の非等温性が含まれると、Fokker-Plank衝突項の自己随伴性が破れ、オンサーガー対称性が保証されない
共通温度 T を設定し、非等温パラメータ $\Delta_a \equiv 1 - T_a/T$ を定義する。 Δ_a の1次に対し、次のようにフラックスを定義を変更する

粒子束の代わりに

$$I_1^{a*} = \left\langle \int d^3v f_a v_D^r (1 + \Delta_a (3/2 - x_a^2)) \right\rangle$$

熱流束の代わりに

$$I_2^{a*} = \left\langle \int d^3v f_a v_D^r (x_a^2 - 5/2 + \Delta_a (x_a^2 + (x_a^2 - 5/2)(3/2 - x_a^2))) \right\rangle$$

平行流束の代わりに

$$I_3^{a*} = \left\langle \int d^3v f_a v_{\parallel} \frac{B}{\langle B^2 \rangle^{1/2}} (1 + \Delta_a (5/2 - x_a^2)) \right\rangle$$

$$I = MA \quad (I:\text{fluxes}, A:\text{forces}, M:\text{matrix})$$

Sauter normalization

#	1.5498519E-05	1.6719147E-05	2.4786652E-06	2.0273381E-06	8.2953300E-02
#	1.6719147E-05	8.9282976E-05	-7.3494359E-07	1.2155050E-06	1.4263462E-01
#	2.4786652E-06	-7.3494359E-07	1.7632019E-04	4.4734090E-06	4.3416913E-03
#	2.0273381E-06	1.2155050E-06	4.4734090E-06	1.3378745E-03	5.7813104E-03
#	8.2953300E-02	1.4263462E-01	4.3416913E-03	5.7813104E-03	-6.0049331E+03

独立に計算した輸送行列の対称成分が正しくオンサーガー対称性を示す。
これは時間発展問題におけるエントロピー生成率の非負性を保証する。

③非線形衝突項などの高次効果を包含した、非平衡エントロピー生成の物理

[O.Yamagishi, Phys.Plasmas 2022]

一般的な運動論方程式 $\frac{\partial F}{\partial t} + V(F) = C(F, F)$ 。分布関数を平衡及び摂動部分に分ける。 $F = F_0 + f$ 。 [山岸, 物理学会2022(秋)]
 これまで、時間発展問題で追及されるエントロピー生成率は摂動の2次までで切り捨てるのが通常である。

$$\frac{ds}{dt} \approx \int d^3v \frac{-f C^{lin}(f, f)}{F_0} + \frac{f C^{nonlinear}(f, f)}{F_0} - \frac{1}{2} \left(\frac{f}{F_0} \right)^2 [C^{lin}(f, f) - V(F_0)] + O(f^4)$$

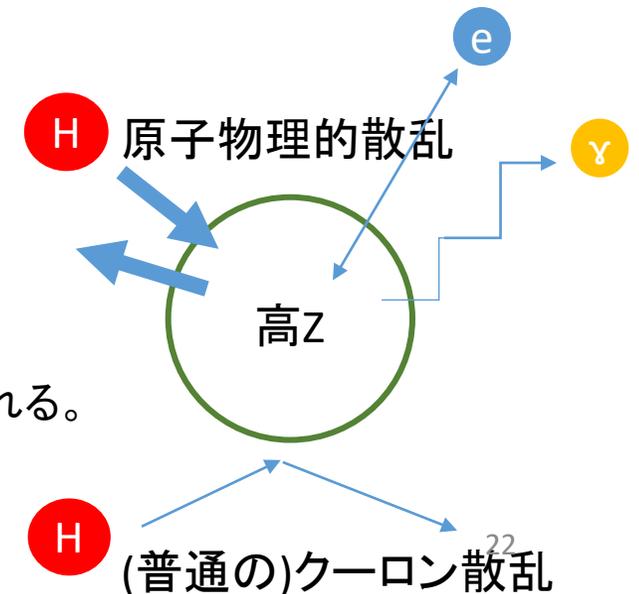
2次項は理論と調和
(線形応答など)

非平衡統計のエントロピー生成は非線形衝突項を含む
3次項から決まるのではないか

このような微視的バランスの議論は、イオン-電子間の大質量比に基づくFP衝突項の離散誤差のため、差分コードでは事実上不可能である。
 この回避のため、モーメント(流体的)アプローチによる時間発展コードをドリフト運動論に対して開発している

④原子物理過程を考慮した、非弾性衝突の運動論への包含

実験におけるスケールリング則は装置表面の影響を示唆する。
 これを模擬するためには不純物イオンの輻射など、原子物理過程を考慮に入れる必要性。
 運動論においては個別の衝突の詳細より、衝突の物理的統計性(保存則等)が重要。
 微視的な量子論的ダイナミクスの追求のほか、質量欠損を利用した相対論的包含なども考えられる。



プラズマ量子プロセスユニットにおける研究

森高外征雄

1. 高エネルギー・高強度場領域におけるプラズマダイナミクス

新しい無衝突散逸・輸送過程としてガンマ線輻射や高強度場中の量子電磁気学効果に着目し、高エネルギー・高強度場領域におけるプラズマダイナミクスを支配する運動論的メカニズムを探索する。このようなプラズマダイナミクスや量子プロセスの特性が高エネルギー天体現象や高強度レーザー実験を通じてどのように現れるかを調べる。

2. 原子・分子過程を含む周辺プラズマの運動論的モデリング

周辺プラズマに対する運動論シミュレーションを、中性粒子や壁との相互作用モデル、および平衡磁場の自由度の点から高度化する。周辺プラズマ中の原子・分子過程や、磁気島をはじめとした複雑な周辺磁場構造が、プラズマ閉じ込めとダイバータ熱負荷に与える影響を明らかにする。

(主な協力研究者: 板倉数記(NiAS), 瀬戸慧大(JAEA), 本間謙輔(広大), XGC team (PPPL), 中村浩章(NIFS) 井戸毅(九大), 澤田圭司(信大), Li Joseph, 菅野龍太郎, 河村学思(NIFS))

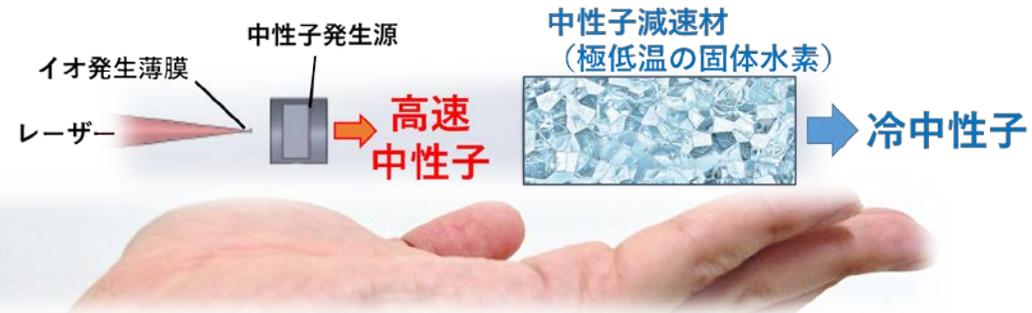
レーザープラズマ相互作用実験への低温工学応用（岩本）

岩本 晃史

低温工学技術の応用例

◆固体水素モデレータ

- 阪大レーザー研のLFEXを使用した実験
- 極低温(マイナス262° C)に冷却した水素の氷を使って、レーザーで冷中性子を発生することに、世界で初めて成功
- 大阪大学プレスリリース
 - S. R. Mirfayzi, A. Yogo, Z. Lan, T. Ishimoto, A. Iwamoto, M. Nagata, M. Nakai, Y. Arikawa, Y. Abe, D. Golovin, Y. Honoki, T. Mori, K. Okamoto, S. Shokita, D. Neely, S. Fujioka, K. Mima, H. Nishimura, S. Kar, R. Kodama, “Proof-of-principle experiment for laser-driven cold neutron source”, Scientific Reports 10 (2020), 20157.



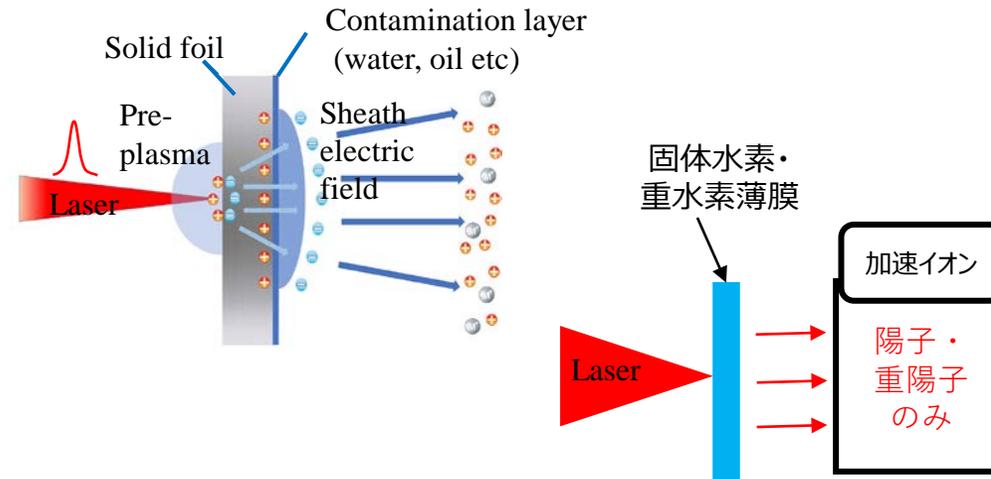
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2020/20201130_1より



固体水素モデレータ

◆固体水素ターゲット

- 阪大レーザー研のLFEXを使用した実験
- 純粋な水素/重水素薄膜ターゲットで高エネルギー陽子・重陽子ビームの発生が目標
- 高真空中で固体水素/重水素薄膜を維持する装置の開発。熱力学的物性研究が必要。
- 阪大レーザー研共同研究
 - 課題番号2023A1-014
 - 研究課題：クライオ冷却水素薄膜による純粋陽子加速の実証
 - 研究代表者：岩本晃史
 - 受入研究者：余語覚文



T. Wei, ILE-QSTシンポジウムOPTO2022ポスターより

レーザー駆動イオン加速の特徴

- ミクロンサイズの空間スケールで加速が可能
- レーザーのパルス幅が短く、点光源のため時間的、空間的分解能が良い



固体水素薄膜装置

レーザープラズマ相互作用実験から低温物性研究（岩本）

水素同位体の物性研究

➤ 阪大レーザー研のグループと共同研究を実施

◆ 光学物性

- 核融合研及び阪大レーザー研において実施
- 現在は主に液体と固体の屈折率を測定
- 同位体の影響を評価

✓ 同位体比による影響などデータは磁場核融合実験用燃料ペレットへ応用可能

◆ 熱力学的物性

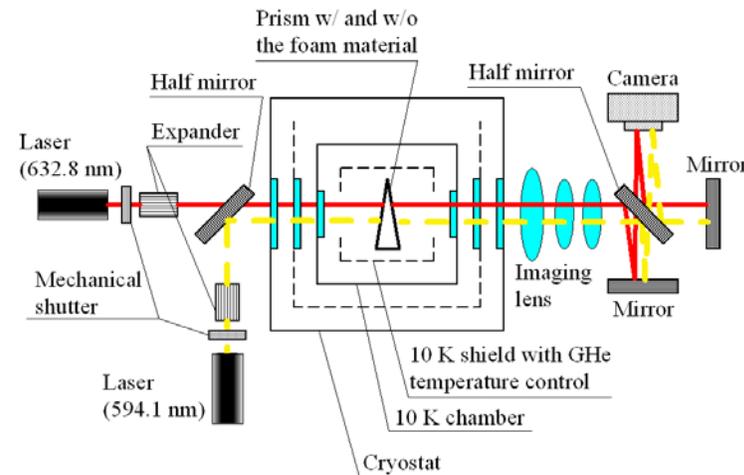
- 核融合研において実施
- 蒸気圧と液体・固体の状態の関係を研究
- 同位体の影響を評価

✓ 同位体比による影響などデータは磁場核融合実験用燃料ペレットへ応用可能

✓ 飽和蒸気圧の制御は冷却技術へ応用が可能



屈折率測定



A. Iwamoto, et al, "FIREX foam cryogenic target development: residual void reduction and estimation with solid hydrogen refractive index measurements," Nuclear Fusion, 53 (2013), 083009.



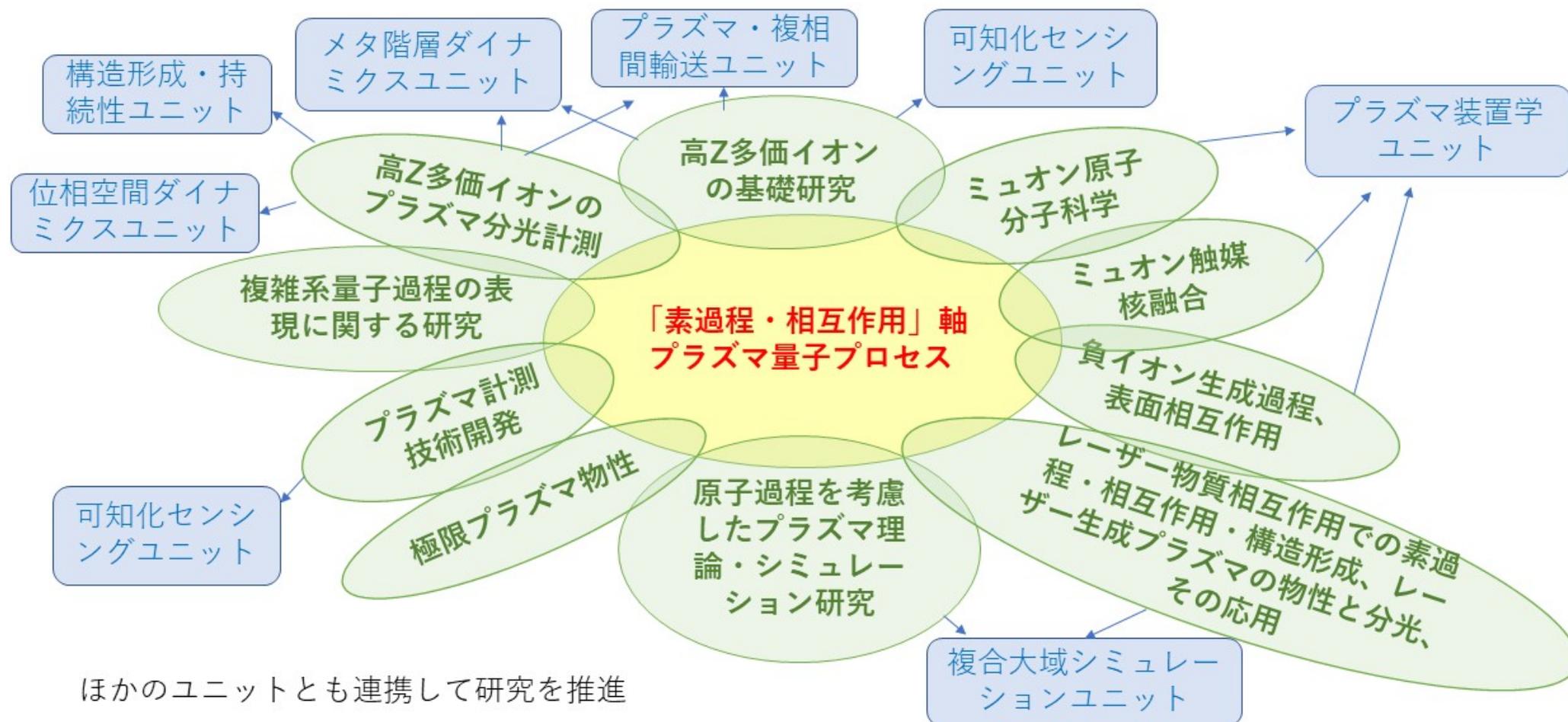
熱力学的物性測定

スリット中の水素の液化・固化



他のユニットとの連携

目標：原子・分子の素過程とプラズマ、場との相互作用、集団としての物理的・化学的性質を、理論・実験、シミュレーション研究で解明。プラズマ研究と原子物理とを結合した新分野



ほかのユニットとも連携して研究を推進

国内外の共同研究ネットワーク

太文字：ユニット研究戦略会議所外メンバー（15名）

- **中村信行、電気通信大学レーザー研、多価イオン原子物理**
- 酒井康弘、東邦大学理学部物理学科、粒子-表面相互作用物理
- 副島弘一、新潟大学理学部理学科、多価イオン原子物理
- **大橋隼人、富山大学学術研究部、多価イオン原子物理**
- **佐々木明、量研機構、原子分子過程**
- **田中雅臣、東北大学理学部、キロノバ観測、輻射輸送シミュレーション**
- **原 弘久、国立天文台、太陽物理学**
- **山口弘悦 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 X線宇宙天文学**
- 山本則正、中部大学、衝突・輻射モデル
- **田沼 肇、東京都立大学、実験原子物理学**
- GAIGALAS Gediminas、ビリニュス大学（リトアニア）、原子構造理論
- DING Xiaobin、西北師範大学（中国）、プラズマ原子過程
- RALCHENKO Yuri、NIST（米国）、プラズマ原子過程、データベース
- PUROHIT Ghanshyam、Mohan Lal Sukhadia大学（インド）、プラズマ原子過程
- **和田 元 同志社大学 表面化学、フォトニクス、プラズマ物理**
- 笹尾真美子 同志社大学 プラズマ物理、原子核物理、表面化学
- 山岡人志 理研[SpRing-8]、放射光物理、表面化学
- 兒玉了祐、阪大工、プラズマ実験
- **千徳靖彦、阪大レーザー研、レーザープラズマ相互作用シミュレーション**
- **藤岡慎介、阪大レーザー研、プラズマ実験**
- 城崎知至、広大院先進理工、核融合燃焼シミュレーション
- 長友英夫、阪大レーザー研、輻射流体シミュレーション
- 岩田夏弥、阪大高等共創研究院、プラズマ理論
- 有川安信、阪大レーザー研、プラズマ実験、中性子科学
- **重森啓介、阪大レーザー研、核融合工学、高エネルギー密度科学**
- 山ノ井航平、阪大レーザー研、核融合工学、レーザー材料
- 岡田信二、中部大学、原子物理・ミュオン科学・原子核ハドロン物理
- 佐藤元泰、中部大学、核融合・原子炉工学・マイクロ波非平衡科学
- **木野康志、東北大学、放射化学・原子物理学**
- 山下琢磨、東北大学、放射化学・原子物理学
- 大嶋晃敏、中部大学、高エネルギー宇宙線実験物理学
- **板倉数記 長崎総合科学大学 高強度場物理、ハドロン物理**
- **瀬戸慧大 日本原子力研究開発機構 高強度レーザー科学、レーザー加工**
- **蔵満康浩 大阪大学大学院工学研究科 レーザー物質相互作用**

独自性・優位性

- 名大旧プラズマ研の時代から核融合研では、
 - ・独自の多価イオン実験装置を用いた多価イオン物理研究、
 - ・プラズマ中の原子・分子衝突断面積の数値データベース活動において国際的リーダーシップをとってきた実績
 - ・原子物理分野、太陽プラズマ研究、キロノバ研究、X線天文学グループ等天文学分野やレーザー生成プラズマ研究分野との共同研究の実績があり、これらの研究に優位性をもって取り組むことができる。
- 多様なプラズマ研究分野との交流実績から原子・分子・光過程研究を応用した新たな共同研究の発展も期待できる。
- 大阪大学レーザー科学研究所との連携研究により、
 - ・ハイパワーレーザーが創り出す実験系では線源からの距離によって、強力な極限環境から自然環境までの幅広いレンジの実験環境を再現可能である。
- 宇宙プラズマにおける高エネルギー粒子が拓く物理学への発展が期待できる。
- 原子分子研究とミュオン触媒核融合研究のシナジー効果により、新しいミュオン触媒核融合過程をはじめとする革新的な研究を世界に先駆けて展開できる。

まとめ

- 多様なプラズマについて、量子プロセスがプラズマの物性をいかに規定し、それらがどのように発現し観測されるのかを明らかにする。
- 核融合科学における課題から、学術としてのプラズマ量子プロセス、そして広汎な学際研究への展開
- 他のユニットとの連携、国内外の共同研究を推進
- プラズマ量子プロセスの総合的研究拠点の形成を目指す